

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 47 567 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**E 04 B 1/76**  
F 16 L 59/06

⑳ Aktenzeichen: 196 47 567.8  
㉔ Anmeldetag: 18. 11. 96  
㉕ Offenlegungstag: 28. 5. 98

DE 196 47 567 A 1

㉗ Anmelder:  
Bayerisches Zentrum für Angewandte  
Energieforschung eV, 97074 Würzburg, DE

㉘ Erfinder:  
Caps, Roland, Dr., 63839 Kleinwallstadt, DE;  
Hetfleisch, Jörg, Dr., 63840 Hausen, DE; Fricke,  
Jochen, Prof.Dr., 97218 Gerbrunn, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Schaltbare Vakuumdämmung, insbesondere zum Einsatz für solare Energienutzung

DE 196 47 567 A 1

Die Erfindung betrifft eine schaltbares Vakuumwärmedämmpanel nach Anspruch 1, insbesondere zum Einsatz für solare Energienutzung.

Dabei soll die schaltbare Vakuumdämmung die für Transparente Wärmedämmungen (TWD) notwendigen Abschattungssysteme ersetzen. Eine transparente Wärmedämmung zeichnet sich durch einen hohen Strahlungstransmissionsgrad (der solaren Einstrahlung) bei gleichzeitigem niedrigem Wärmedurchgangskoeffizienten aus. Diese Dämmungen wurden in den letzten Jahren in vielen Ausführungen entwickelt (z. B. mit Silica-Aerogelen oder Kapillarstrukturen aus Kunststoff oder Glas) und in der Praxis im Bereich für Gebäudedämmssysteme getestet. Sie weisen ein hohes Energieeinsparpotential auf und sind zum Beispiel besonders effektiv einsetzbar für die Sanierung schlecht isolierter Altbauten. Es stellt sich aber das Problem dar, daß vor allem in der strahlungsreichen Jahreszeit die mit der TWD isolierten Wände mit aufwendigen mechanischen Abschattungssystemen vor Überhitzung geschützt werden müssen.

Aufgrund ihrer Konstruktion weisen bisherige TWD-Elemente leider nicht die im Baubereich geforderten k-Werte von  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  und besser auf, sondern liegen eher im Bereich  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . So sind nachts oder im Winter die Wärmeverluste deutlich größer als bei einer konventionellen, nicht transparenten Dämmung.

Die hier vorgestellte Erfindung soll es ermöglichen, daß im Gegensatz zu bisherigen TWD-Systemen auf Abschattungseinrichtungen völlig verzichtet werden kann. Mit dem Einsatz einer schaltbaren Vakuumisolation zwischen der TWD-Schicht und der Gebäudewand, bzw. dem Gebäudeinneren steht während einer zu hohen solaren Einstrahlung oder während eines ungenügenden Solarenergieangebots eine hocheffektive Wärmedämmung zur Verfügung. So soll – je nach Bedarf – das System so geschaltet werden können, daß es hochdämmend wirkt (in der Nacht und im Winter als Kälteschutz und im Sommer als Hitzeschutz) oder energiedurchlässig wirkt (zum Transport der absorbierten Solarenergie ins Gebäudeinnere).

Vakuumdämmungen z. B. auf der Basis von evakuiertem Glasfasermaterial, das mit einer gasdichten Hülle umgeben ist, sind hinreichend bekannt. Auch verschiedene Systeme schaltbarer Vakuumisolationen sind gefunden worden. Dabei kann z. B. über Pumpen der Druck in der Vakuumisolation und somit deren Wärmeleitfähigkeit definiert eingestellt werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, in der Vakuumisolation den Gasdruck mit Hilfe von Wasserstoffgas zu variieren, das durch ein geeignetes Gettermaterial adsorbiert ist. Durch Erhitzung des Getters kann das Wasserstoffgas freigesetzt werden. Nach Abkühlen des Gettermaterials wird der Wasserstoff wieder aufgenommen (z. B. US 5,433,056). Diese Systeme sind einsetzbar zur variablen Wärmeisolation spezieller Batterien und Motorkomponenten. Die bisherigen Systeme haben den Nachteil, daß sie technisch aufwendig gestaltet sind oder der Energieaufwand zum Erreichen eines definierten Schaltzustandes hoch ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, mit Hilfe evakuierter Wärmedämmpaneele und geeigneter Metallhydride als Wasserstoffgetter eine schaltbare Wärmedämmung zu konzipieren, die ein bedarfsweises Fluten und Desorbieren von Wasserstoff innerhalb des Wärmeisulationsmaterials ermöglicht ohne auf mechanische Umschaltvorrichtungen, Vakuumpumpen und dergleichen zurückgreifen zu müssen. Dabei ist es wichtig, daß der konstruktive Aufwand zur Veränderung der konventionellen Vakuumdämmung verhältnismäßig gering bleibt und als Schaltleistung eine elektrische Leistung

von wenigen Watt pro Quadratmeter Paneelfläche ausreicht. Die Schaltleistung sollte zudem nur im durchgeschalteten, d. h. im mit Wasserstoff befüllten Zustand notwendig sein, wenn das Solarangebot thermisch genutzt wird. Im hochdämmenden Zustand soll keine elektrische Hilfsleistung notwendig sein. Nur auf diese Weise ist es möglich, die schaltbare Wärmedämmung in Kombination mit einer transparenten Abdeckung als weitgehend passives Element zur Nutzung der thermischen Solarenergie großflächig in Gebäuden einzusetzen.

Die Grundlage der schaltbaren Wärmedämmung ist ein evakuiertes, z. B. aus Glasfasermaterial bestehendes Wärmedämmsystem (Vakuumwärmedämmpanel), das eine um den Faktor zehn bis zwanzig geringere Wärmeleitfähigkeit als konventionelle, belüftete Dämmstoffe aufweisen. Solche flache; großformatige Vakuumdämmpaneele werden schon kommerziell angeboten. Das Fluten des Paneelinneren mit Wasserstoff ermöglicht, den hohen Wärmewiderstand des evakuierten Paneels um bis zu einem Hundertstel zu reduzieren.

Die Wärmeleitfähigkeit von evakuierten Dämmungen aus gesponnenen Glasfasern (Faserdurchmesser  $10 \mu\text{m}$ ) beträgt z. B. bei einem Gasdruck kleiner als  $0,01 \text{ mbar}$  ca.  $0,002 \text{ W/mK}$ . Mit steigendem Gasdruck des Wasserstoffs nimmt die Wärmeleitfähigkeit zu, ab ca.  $100 \text{ mbar}$  Gasdruck ist die volle Wärmeleitfähigkeit der mit Wasserstoff gefüllten Faserisolation erreicht; sie beträgt knapp  $0,2 \text{ W/mK}$ .

Eine einfache und reversible Möglichkeit den Wasserstoff zu "erzeugen" und wieder zu "binden" besteht in der Verwendung von Metallhydriden als Getter. Diese setzen Wasserstoff bei Temperaturen ab etwa  $300^\circ\text{C}$  frei und nehmen den Wasserstoff bei Temperaturen unter  $200^\circ\text{C}$  vollständig wieder auf. Der Vorgang ist reversibel.

Erfindungsgemäß wird das Wasserstoff-Gettermaterial in einem kleinen Behälter an geeigneter Stelle im Vakuumwärmedämmpanel plziert. Es kann auf geeignete Weise mit elektrischer Energie, vorzugsweise mit einer elektrischen Widerstandsheizung bei Bedarf auf die erforderliche Temperatur von  $300^\circ\text{C}$  bis  $500^\circ\text{C}$  aufgeheizt werden. Um eine akzeptable Energiebilanz für das Gesamtsystem zu erhalten, ist es notwendig, den Behälter mit dem Metallhydrid zusätzlich rundum thermisch effektiv zu isolieren, um beim Heizen des Getters die Wärmeverluste möglichst gering zu halten; Durch die Isolation können diese um etwa 90% gesenkt werden. Die Wärmeleitfähigkeit der Isolation des Gettermaterials darf dabei im Gegensatz zur Wärmeleitfähigkeit des Füllmaterials im Paneel keine oder nur eine geringe Abhängigkeit vom Gasdruck zeigen. Denkbar wäre eine zweite abgeschlossene Vakuumisolation um das Gettermaterial – mit geeigneten Durchbrüchen für den Gasaustausch zwischen dem Getter und dem Füllmaterial des Paneels. Eine erfindungsgemäß einfache Lösung ist der Einsatz von mikroporösem oder gar nanoporösem, gegebenenfalls infrarotgetriebenem Material zur Dämmung des Getters. Dabei nutzt die Erfindung die unterschiedliche mittlere freie Weglänge von Gasmolekülen aus:

In mikroporösen Pulverdämmungen, z. B. auf der Basis von Kieselsäuren, liegt die mittlere freie Weglänge – wie der Name schon sagt – im Bereich von Mikrometern; bei Aerogelen, z. B. aus Siliziumdioxid, liegt die mittlere freie Weglänge der Gasmoleküle bei nur etwa  $0,05 \mu\text{m}$ . Ein wesentlicher Anstieg der gasdruckabhängigen Wärmeleitfähigkeit macht sich bei Aerogel erst ab  $100 \text{ mbar}$  Gasdruck bemerkbar.

Bei grobporigen Isolationsmaterialien, mit einem Porendurchmesser von  $10 \mu\text{m}$  bis  $1 \text{ mm}$ , z. B. bei oben genanntem Glasfasermaterial, beginnt dagegen ein Anstieg der Wärmeleitfähigkeit schon bei einem Gasdruck von

0,02 mbar. Zwischen dem Vakuumgasdruck von 0,01 mbar und einem Wasserstoffgasdruck von 10 mbar erhöht sich die Wärmeleitfähigkeit einer Glasfaserfüllung um etwa das 50-fache.

Während so das grobstrukturierte Dämmmaterial im Paneel beim Befüllen mit Wasserstoff eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit annimmt, bleibt bei der mikroporösen Isolation des Behälters mit dem Gettermaterial die hervorragende Wärmedämmung auch bei einem Wasserstoffdruck um 100 mbar voll erhalten.

Der Vorzug des erfindungsgemäßen, schaltbaren Vakuumwärmedämmpanels liegt darin, daß der thermisch geringst leitende Zustand rein passiv ohne externe Hilfsleistung aufrecht erhalten werden kann, da die verwendeten Metallhydride bei Raumtemperatur den Wasserstoff soweit adsorbieren, daß ein für die Vakuumisolation ausreichend geringer Gasdruck von 0,01 mbar auf Dauer gehalten werden kann.

In einer Ausführung der Erfindung wird ein mit Metallhydridmaterial gefülltes Behältnis allseitig mit einer mikroporösen Isolationsschicht aus gepreßten Platten eines mit Infrarotstrahlungsmitteln versehenen Kieselsäurepulvers umgeben. Diese Behälterkonstruktion wird auf geeignete Weise während des üblichen Herstellungsprozesses des Vakuumpaneels mit in dieses integriert. Die Behälterkonstruktion enthält ausreichende, gegebenenfalls mit Filtermaterial abgedeckte Öffnungen zum Entweichen und zur Wiederaufnahme des Wasserstoffgases. An die mikroporöse Dämmung liegt in dieser Ausführung auf der oberen und unteren Seite die Umhüllung des evakuierbaren Isolationspaneels an; an den restlichen vier Seitenflächen schließt als grobstrukturiertes Dämmmaterial die Glasfaserisolation an. Das Gettermaterial im Behälter ist mit einer elektrischen Heizung in Verbindung, die nötigen Zuleitungen der Heizung werden über eine vakuumdichte Durchführung in der Umhüllung des Paneels nach außen geführt.

Pro Quadratmeter Paneelfläche werden nur wenige Gramm Metallhydrid benötigt, so daß die Behältergröße und damit die Wärmeverluste bzw. die elektrische Heizleistung zur Aufrechterhaltung des Wasserstoffdruckes sehr gering gehalten werden können. Für ein Quadratmeter Paneelfläche kann zur Aufrechterhaltung des thermisch gut leitenden Zustands mit einer elektrischen Schaltleistung von unter 5 Watt gerechnet werden. Die Schaltzeiten dieser Ausführung der Erfindung liegen bei etwa 10 Minuten für das Umschalten von niedriger Wärmeleitung zu hoher Wärmeleitung (Hilfsheizung ein, Wasserstoff wird frei). Umgekehrt, nach Ausschaltung der Hilfsheizung, dauert das Umschalten 20 Minuten (Wasserstoff wird readsorbiert).

Diese schaltbare Vakuumisolation ist insbesondere für ein Gebäudewärmeisolationssystem in Verbindung mit einer Transparenten Wärmedämmung vorgesehen. Andere Bereiche für den Einsatz großflächiger schaltbarer Vakuumisolationen seien nicht ausgeschlossen.

Zur thermischen Nutzung der Solarenergie kann für ein System eines schaltbaren Vakuumwärmedämmpanels mit einer TWD gegebenenfalls die konventionelle TWD durch eine einzelne Glasscheibe ersetzt werden, da die Wärmedämmung des Vakuumpanels im passiven Zustand sowieso extrem hoch ist:

Auf einer massiven, nach Süden ausgerichtete Wand wird das schaltbare Vakuumwärmedämmpaneel geeignet befestigt; die Glasscheibe wird in einem Abstand von 5 mm bis 15 mm davorgesetzt. Die Oberfläche des schaltbaren Paneels ist für Solarstrahlung hoch absorbierend beschichtet. Wie bei einem thermischen Flachkollektor wird die einfallende Solarstrahlung auf der Oberfläche absorbiert und wegen des geringen Wärmewiderstands des aktiven, mit Was-

serstoff befüllten Paneels zur Wand hin abgegeben. Um Wärmeverluste der absorbierten Solarstrahlung zur Umgebung hin zu verringern, wird entweder die Innenseite der Glasscheibe mit einer transparenten, jedoch die Wärmestrahlung reflektierenden Beschichtung (wie bei einer Wärmeschutzverglasung) versehen oder das schaltbare Vakuumpaneel wird mit einer für Solarstrahlung selektiv absorbierenden und Wärmestrahlung wenig emittierenden Schicht versehen. Nachts und bei nicht ausreichender Sonneneinstrahlung wird der Wärmewiderstand durch Gettern des Wasserstoffs (d. h. durch Ausschalten der elektrischen Hilfsleistung) drastisch erhöht, so daß die Wärmeverluste aus dem Gebäudeinneren nach draußen weitgehend unterbunden werden.

Die hohen Temperaturen von bis zu 150°C, die insbesondere im Sommer auf der absorbierenden Oberfläche eines hinter einer TWD liegenden schaltbaren Vakuumwärmedämmpaneels auftreten können, beeinflussen nicht das Gebäudeinnere und die Wandstruktur (wie bei einer konventionellen TWD) wenn der evakuierte, hochdämmende Zustand des Paneels geschaltet ist, d. h. wenn die elektrische Hilfsheizung ausgeschaltet ist. Somit sind auch keine zusätzlichen Abschattungssysteme mehr notwendig.

Da während der "durchgeschalteten Phase" des Vakuum-TWD-Systems zum Erhalt der hohen Wärmeleitfähigkeit eine, wenn auch geringe, elektrische Energie aufgewendet werden muß und gleichzeitig solare Strahlungsenergie zur Verfügung steht, ist es naheliegend die elektrische Energie mit Hilfe von photovoltaischen Elementen zu gewinnen. Damit wäre ein schaltbares, aber völlig energieautarkes Isolationssystem möglich.

#### Patentansprüche

1. Vakuumwärmedämmpaneel mit variabel schaltbarer Wärmeleitfähigkeit auf der Basis eines gasdicht umhüllten und evakuierten, grobporösen oder grobstrukturierten Dämmmaterials, das nach Bedarf mit Wasserstoffgas geflutet werden kann, **dadurch gekennzeichnet**, daß sich innerhalb der Umhüllung ein zur Adsorption und Desadsorption von Wasserstoff geeignetes, elektrisch beheizbares Gettermaterial befindet, das von einem Wärmeisulationsmaterial umschlossen ist, dessen Wärmeleitfähigkeit nicht, oder nur wenig vom Gasdruck im Vakuumwärmedämmpaneel abhängt.
2. Vakuumwärmedämmpaneel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Wärmeisulationsmaterial, das den Getter umschließt mikroporöses oder nanoporöses Material ist, z.B. Aerogel.
3. Vakuumwärmedämmpaneel nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das grobporöse oder grobstrukturierte Dämmmaterial eine mittlere Porengröße von 10 µm bis 1 mm aufweist, z. B. Glasfasern.
4. Vakuumwärmedämmpaneel nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß es als Gebäudedämmung in einem Verbund mit einer Transparenten Wärmedämmung den Wärmeenergie-transport zwischen der Transparenten Wärmedämmung und der zu isolierenden Gebäudewand regelt.
5. Vakuumwärmedämmpaneel nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß es Teil eines Dämmsystems ist, dessen elektrische Energie auf photovoltaischen Wege gewonnen wird.

- Leerseite -